

Docket No. 198009US2S/vdm



GP 2832

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Toshiya IMAI, et al.

GAU: 2832

SERIAL NO: 09/677,886

EXAMINER:

FILED: October 3, 2000

FOR: NONLINEAR RESISTOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

RECEIVED
DEC 27 2000
TECHNOLOGY CENTER 2800

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

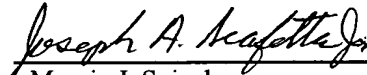
<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	11-282871	October 4, 1999
JAPAN	2000-262950	August 31, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
 - ☐ are submitted herewith
 - ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.


Marvin J. Spivak

Registration No. 24,913

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26,803



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

09/677,886



日本国特許庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日

Date of Application:

1999年10月 4日

出願番号

Application Number:

平成11年特許願第282871号

出願人

Applicant (s):

株式会社東芝

#4
Priority
Invention
1-02-2

RECEIVED

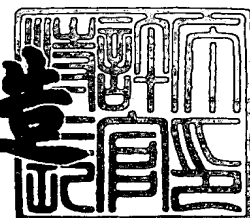
DEC 27 2000

TECHNOLOGY CENTER 2800

2000年 9月18日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3075640

【書類名】 特許願

【整理番号】 63A9990021

【提出日】 平成11年10月 4日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01C 7/10

【発明の名称】 電圧非直線抵抗体及びその製造方法

【請求項の数】 6

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市川崎区浮島町 2 番 1 号 株式会社東芝
浜川崎工場内

【氏名】 今井 俊哉

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市川崎区浮島町 2 番 1 号 株式会社東芝
浜川崎工場内

【氏名】 安藤 秀泰

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市川崎区浮島町 2 番 1 号 株式会社東芝
浜川崎工場内

【氏名】 西脇 進

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

【識別番号】 100081961

【弁理士】

【氏名又は名称】 木内 光春

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013538

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電圧非直線抵抗体及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 酸化亜鉛を主成分とした焼結体と、この焼結体の側面に設けられた側面高抵抗層と、前記焼結体の上下面に設けられた一对の電極を備えた電圧非直線抵抗体において、

重り落下試験により測定される前記側面高抵抗層の前記焼結体への衝撃密着強度が 4 0 m m 以上であり、かつ、前記電極の端部と前記側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部との端部間距離が、0 ～ (側面高抵抗層厚み + 0 . 0 1) m m の範囲内となるように形成された

ことを特徴とする電圧非直線抵抗体。

【請求項 2】 前記電極の材料が、アルミニウム、銅、亜鉛、ニッケル、金、銀、チタンまたはそれらの合金、の中から選択された材料であることを特徴とする請求項 1 記載の電圧非直線抵抗体。

【請求項 3】 前記電極の平均厚みが 5 μ m ～ 5 0 0 μ m の範囲内であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の電圧非直線抵抗体。

【請求項 4】 前記側面高抵抗層が、少なくとも無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機物による側面高抵抗層、結晶質無機物による側面高抵抗層、有機高分子樹脂を主成分とした側面高抵抗層、の中からいずれか 1 種類以上を組み合わせ形成されたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 つに記載の電圧非直線抵抗体。

【請求項 5】 前記側面高抵抗層の厚みが 1 μ m ～ 2 m m の範囲内であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 つに記載の電圧非直線抵抗体。

【請求項 6】 酸化亜鉛を主成分とした焼結体の側面に側面高抵抗層を形成し、前記焼結体の上下面に一对の電極を形成することにより、請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 つに記載の非直線抵抗体を製造するための方法において、

前記電極の形成を、プラズマ溶射、アーク溶射、高速ガス炎溶射、スクリーン印刷、蒸着、転写、スパッタリングの中から選択された手法により行うことを特徴とする電圧非直線抵抗体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、過電圧保護装置に使用される電圧非直線抵抗体及びその製造方法に関し、特に電極及び側面高抵抗層を有する電圧非直線抵抗体及びその製造方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

一般に、電力系統においては、正常な電圧に重畳される過電圧を除去して電力系統を保護するために、避雷器やサージアブソーバといった過電圧保護装置が用いられている。この過電圧保護装置には、電圧非直線抵抗体が主に使用されている。ここで、電圧非直線抵抗体とは、正常な電圧ではほぼ絶縁特性を示し、過電圧が印加された時には比較的低抵抗となる特性を有する抵抗体である。

【0 0 0 3】

このような電圧非直線抵抗体は、ZnO（酸化亜鉛）を主成分とし、非直線抵抗特性を得るために添加物として少なくとも一種類以上の金属酸化物を添加して、混合、造粒、成形し、焼結した焼結体を備えている。また、焼結体の側面には、サージ吸収時に側面からのフラッシュ・オーバーを防止するために側面高抵抗層が形成されており、焼結体の上下面には、焼結体に電流が均一に流れるようにするため、電極が設けられている。

【0 0 0 4】

上述した非直線抵抗体の電極においては、高電流が印加された時のフラッシュ・オーバーを避け易くするために、電極端部が焼結体端部にかからないように、非直線抵抗体の円周部にリング状の電極未形成部を設けることが一般的となっている。

【0 0 0 5】

電極未形成部を設ける手法として、例えば、特公平 5－7 4 9 2 1 号公報や特開平 8－1 9 5 3 0 3 号公報においては、電極形成時に電圧非直線抵抗体にゴムマスクをはめることにより、非直線抵抗体の円周部にリング状の電極未形成部を

設ける手法が開示されている。また、特開平 1 1 - 1 8 6 0 0 6 号公報においては、非直線抵抗体の円周部に焼結体端部と電極端部の距離が 0. 0 1 ~ 1. 0 m m となるようなリング状の電極未形成部を設ける手法が開示されている。

【0 0 0 6】

さらに他の多くの特許公報やその他の各種技術文献等においても、非直線抵抗体の円周部にリング状の電極未形成部を設けることが開示されている。このように、非直線抵抗体の円周部にリング状の電極未形成部を設けることは、従来、極めて一般的に行われている周知の技術である。

【0 0 0 7】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、電力需要の伸びと高度情報化社会の発展がめざましい近年においては、安定した安価な電力供給が強く求められている。また、都市部での用地不足による受変電設備の設置スペース不足から、送変電機器の小型化への要求はいままでに強い。このような電力系統に対する安定した電力供給や小型化への要求を受けて、過電圧保護装置においても高信頼性および小型化への要求が高まっている。

【0 0 0 8】

過電圧保護装置におけるそのような要求に応えるために、最近では、電圧非直線抵抗体の単位厚み当たりの電圧値を大きくして高さ寸法を低く抑え、さらにはエネルギー吸収能力を向上して小径化を図ることにより、電圧非直線抵抗体の小型化が推進されている。また、当然のことながら、小型化された過電圧保護装置においても、長期間の使用における安定した運転状態が要求されている。

【0 0 0 9】

ところが、前述した従来の電圧非直線抵抗体のように、高電流印加時のフラッシュオーバーを回避する目的で、電極端部が焼結体端部にかからないように、非直線抵抗体の円周部にリング状の電極未形成部を設けた場合には、この電極未形成部の存在に起因して熱応力が発生することにより、焼結体の破壊に至る可能性がある。

【0 0 1 0】

すなわち、円周部にリング状の電極未形成部を設けるようにして、電極を焼結体の上下面に形成した非直線抵抗体において、電流を印加した時に電極形成部には電流が流れるが、非直線抵抗体周囲部のリング状の電極未形成部には電流が流れない。そのため、電極形成部のみが温度上昇して電極未形成部との間に温度差が生じることに起因して熱応力が発生することにより、焼結体にクラックが発生して破壊に至り、結果として電圧非直線抵抗体の過電圧保護能力を低下させる可能性があった。

【0 0 1 1】

したがって、非直線抵抗体の円周部にリング状の電極未形成部を設けるという従来の手法においては、単位厚み当たりの電圧の増大や小径化により電圧非直線抵抗体を小型化した時に要求される開閉サージ、雷インパルスや過電圧等のサージに対する十分な保護能力を確保することが困難であった。

【0 0 1 2】

その問題解決手段として、電極形成面積を極力広くすることが考えられる。しかしながら、従来の電圧非直線抵抗体では、電極を側面高抵抗層部まで、または側面高抵抗層の近傍まで形成すると、焼結体と側面高抵抗層と焼結体の界面では、過電圧サージ印加時にフラッシュオーバーが生じたり、常時電圧がかかる通常の運転状態において課電劣化を生じる可能性がある。そのため、従来の電圧非直線抵抗体では、高い過電圧保護能力と安定した課電寿命性能を兼ね備えた電圧非直線抵抗体の実現できなくなるという問題点があった。

【0 0 1 3】

本発明は、以上のような技術的な課題を解消するために提案されたものであり、その目的は、側面高抵抗層の衝撃密着強度を一定以上に制御した上で、電極の形成面積を最大限に広げることにより、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、雷インパルスや過電圧等のサージに対する保護能力を飛躍的に向上させた電圧非直線抵抗体を提供すると共に、そのような電圧非直線抵抗体を製造可能な優れた製造方法を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、酸化亜鉛を主成分とした焼結体と、この焼結体の側面に設けられた側面高抵抗層と、前記焼結体の上下面に設けられた一対の電極を備えた電圧非直線抵抗体において、側面高抵抗層の衝撃密着強度を一定以上に制御した上で、電極の端部と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部との端部間距離を限定して、電極の形成面積を最大限に広げるものである。これにより、過電圧サージ印加時におけるフラッシュオーバーの発生や、実使用状態での電圧負荷による課電劣化を防止できる。本発明ではさらに、電極の材料や平均厚み、側面高抵抗層の構成や厚み、あるいは電極の形成手法を限定することにより、電極や側面高抵抗層の密着力や電気特性を向上することができる。

【0015】

請求項1の電圧非直線抵抗体は、重り落下試験により測定される側面高抵抗層の焼結体への衝撃密着強度が40mm以上であり、かつ、電極の端部と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部との端部間距離が、0～（側面高抵抗層厚み+0.01）mmの範囲内となるように形成されたことを特徴としている。

【0016】

この電圧非直線抵抗体においては、円周部にリング状の電極未形成部を設けずに、電極を側面高抵抗層にかかるまで、または焼結体と側面高抵抗層の界面近傍まで形成することで電極の形成面積を最大限に広げている。このように電極の形成面積を最大限に広げただけでは、焼結体と側面高抵抗層と焼結体の界面で、過電圧サージ印加時にフラッシュオーバーが生じたり、実使用状態での電圧負荷時に課電劣化を生じる可能性がある。これに対して、本発明では、側面高抵抗層の密着強度を適切な範囲に限定することにより、電極の形成面積を最大限に広げても、焼結体と側面高抵抗層と焼結体の界面でのそのようなフラッシュオーバーや課電劣化の発生を防止できる。

【0017】

また、この電圧非直線抵抗体においては、電極を電極の端部と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部との端部間距離が、0～（側面高抵抗層厚み+0.01

）mmの範囲内であることにより、過電圧サージを印加した場合には焼結体全体に電流が流れるため、非直線抵抗体に温度差を生じることはない。そのため、電圧非直線抵抗体の周囲部にリング状の電極未形成部を設けた場合に生じるような、温度差に起因する熱応力の発生を防止でき、熱応力に起因する焼結体の破壊現象を防止できる。

【0018】

したがって、この電圧非直線抵抗体は、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等のサージに対して優れた保護能力を発揮することができる。

【0019】

特に、電極の端部と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部との端部間距離を0mmとする場合には、電圧非直線抵抗体の円周部に電極未形成部を設ける場合に比べて、電極未形成部を設けるためのマスキングが不要となる分だけ、電極形成工程を簡略化できる。したがって、この場合には、前述した課電寿命や保護能力の向上に加えて、製造工程の簡略化とそれによるコストの節減等も実現できる。

【0020】

請求項2の電圧非直線抵抗体は、請求項1記載の電圧非直線抵抗体において、電極の材料が、アルミニウム、銅、亜鉛、ニッケル、金、銀、チタンまたはそれらの合金、の中から選択された材料であることを特徴としている。

【0021】

この電圧非直線抵抗体においては、電極材料を適切に限定することにより、導電率が高く焼結体との密着力が高い電極を実現することができる。そのため、この電圧非直線抵抗体は、開閉サージ、雷インパルス電流や過電圧等のサージに対して優れた保護能力を発揮することができる。

【0022】

請求項3の電圧非直線抵抗体は、請求項1または2記載の電圧非直線抵抗体において、電極の平均厚みが $5\mu\text{m}$ ～ $500\mu\text{m}$ の範囲内であることを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

この電圧非直線抵抗体においては、電極の平均厚みを $5\ \mu\text{m} \sim 500\ \mu\text{m}$ という適切な範囲に限定することにより、密着強度が高く一定以上の熱容量を有する電極を実現することができる。そのため、この電圧非直線抵抗体は、開閉サージ、雷インパルス電流や過電圧等のサージに対して優れた保護能力を発揮することができる。

【 0 0 2 4 】

請求項 4 の電圧非直線抵抗体は、請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載の電圧非直線抵抗体において、側面高抵抗層が、少なくとも無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機物による側面高抵抗層、結晶質無機物による側面高抵抗層、有機高分子樹脂を主成分とした側面高抵抗層、の中からいずれか 1 種類以上を組み合わせ形成されたことを特徴としている。

【 0 0 2 5 】

この電圧非直線抵抗体は、側面高抵抗層の種類を適切に限定することにより、密着強度及び耐電圧が高い側面高抵抗層を実現することができる。そのため、電極を側面高抵抗層にかかるまで、または焼結体と側面高抵抗層の界面近傍まで形成することで電極の形成面積を最大限に広げながらも、側面高抵抗層の密着強度及び耐電圧が高いことにより、焼結体と側面高抵抗層と焼結体の界面での過電圧サージ印加時のフラッシュオーバーや、実使用状態での電圧負荷時の課電劣化の発生を防止することができる。したがって、この電圧非直線抵抗体は、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等のサージに対して優れた保護能力を発揮することができる。

【 0 0 2 6 】

請求項 5 の電圧非直線抵抗体は、請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 つに記載の電圧非直線抵抗体において、側面高抵抗層の厚みが $1\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲内であることを特徴としている。

【 0 0 2 7 】

この非直線抵抗体では、側面高抵抗層の厚みを $1\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ という適切な範

囲に限定することにより、密着力が高い側面高抵抗層を実現することができる。そのため、電極を側面高抵抗層にかかるまで、または焼結体と側面高抵抗層の界面近傍まで形成することで電極の形成面積を最大限に広げながらも、側面高抵抗層の密着力が高いことにより、焼結体と側面高抵抗層と焼結体の界面での過電圧サージ印加時のフラッシュオーバーや、実使用状態での電圧負荷時の課電劣化の発生を防止することができる。したがって、この電圧非直線抵抗体は、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等のサージに対して優れた保護能力を発揮することができる。

【0028】

請求項6の製造方法は、酸化亜鉛を主成分とした焼結体の側面に側面高抵抗層を形成し、前記焼結体の上下面に一对の電極を形成することにより、請求項1～5のいずれか1つに記載の非直線抵抗体を製造するための方法において、電極の形成手法に特徴を有する。すなわち、電極の形成を、プラズマ溶射、アーク溶射、高速ガス炎溶射、スクリーン印刷、蒸着、転写、スパッタリングの中から選択された手法により行うものである。

【0029】

この製造方法によれば、電極を形成する手法を適切に限定することにより、密着力が高い電極を実現することができる。そのため、この製造方法によって得られた電圧非直線抵抗体は、開閉サージ、雷インパルス電流や過電圧等のサージに対して優れた保護能力を発揮することができる。

【0030】

【実施例】

以下には、本発明の電圧非直線抵抗体及びその製造方法を適用した実施例について、図表を参照して具体的に説明する。

【0031】

まず、図1は、本発明に従って作製された電圧非直線抵抗体を示す断面図である。この電圧非直線抵抗体は、焼結体1、電極2、及び側面高抵抗層3を備えており、焼結体1の側面部に側面高抵抗層3を形成した後、焼結体1の両平坦面を所定の厚みに研磨し、その研磨面に電極2を形成することにより作製されている。

。以下に述べる各実施例は、特に、電極 2 及び側面高抵抗層 3 に特徴を有するものであるが、その前にまず、焼結体 1 の製造工程について述べる。

【0032】

〔焼結体の製造工程〕

まず、主成分の ZnO （酸化亜鉛）に対して、副成分として、 Bi_2O_3 （酸化ビスマス）、 MnO_2 （酸化マンガン）をそれぞれ 0.5mol%、 Co_2O_3 （酸化コバルト）、 NiO （酸化ニッケル）、 Sb_2O_3 （三酸化アンチモン）をそれぞれ 1mol% ずつ添加して原料を作る。次に、この原料を水及び有機物バインダー類と共に混合装置で混合し、混合スラリーを作る。

【0033】

続いて、この混合スラリーをスプレードライヤーで噴霧造粒し、所定重量の造粒粉を金型に入れて所定の圧力で加圧し、例えば直径 60mm の円板状に成形する。その後、添加した有機物バインダー類を予め除くために空気中で 400～500℃ で熱処理し、さらに 1200℃ で焼成することにより焼結体 1 を得る。

【0034】

（1）第 1 の実施例

第 1 の実施例は、請求項 1 に記載の発明に関するものであり、重り落下試験により測定される側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が 40mm 以上であり、かつ、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0～（側面高抵抗層厚み+0.01）mm の範囲内となるように形成された電圧非直線抵抗体の作用効果を示すために、衝撃密着強度や端部間距離が異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【0035】

〔衝撃密着強度が異なる試料の作製〕

まず、重り落下試験により測定される側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度を 40mm 以上とする構成の作用効果を示すために、側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【0036】

ここで、側面高抵抗層 3 は、少なくとも $Al_6 Si_2 O_{13}$ (ムライト) と、 $AlPO_4$ (オルトリン酸アルミニウム) を成分とする側面高抵抗層形成用の塗布物を焼結体 1 側面に塗布し焼付けすることにより形成した。その際に、その $Al_6 Si_2 O_{13}$ (ムライト) と、 $AlPO_4$ (オルトリン酸アルミニウム) を成分とする側面高抵抗層形成用の塗布物が、塗布前の温度や湿度の制御により硬化する現象を利用して、側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が、それぞれ、5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 200 mm と異なる、計 8 種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【0037】

この場合、衝撃密着強度は、側面高抵抗層 3 を形成した非直線抵抗体を水平面から 45 度傾け、側面高抵抗層 3 が形成された電圧非直線抵抗体の角部に 100 g の重りを一定の高さから落下させて衝突させた場合の、側面高抵抗層 3 が焼結体 1 から剥離する重り落下高さを測定した値である。

【0038】

さらに、いずれの試料においても、電極 2 は、Al (アルミニウム) を主成分とした材料を用いて、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0 mm となるように、等しく形成した。

【0039】

[衝撃密着強度が異なる試料の評価]

以上のように作製した各試料に対して、2 ms の波長で所定のエネルギーを有する開閉サージを、 $100 J/cm^3$ を開始エネルギーとし、試料が室温に戻る時間間隔で印加エネルギーを $50 J/cm^3$ ずつ増加させながら印加してゆき、各試料が破壊するエネルギーにより各試料の過電圧保護能力の評価を行った。その結果を図 2 に示す。

【0040】

図 2 から明らかなように、本発明に該当する試料、つまり側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への重り落下試験で測定した衝撃密着強度が 40 mm 以上の試料は、いずれも、 $800 J/cm^3$ 未満のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点で

は破壊が生じることはなく、破壊が生じるのは印加するエネルギーが少なくとも 800 J/cm^3 以上となった場合である。これに対して、本発明に該当しない試料、つまり側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への重り落下試験の衝撃密着強度が 40 mm 未満の試料は、いずれも、 400 J/cm^3 以下のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点で破壊が生じている。

【0041】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、電極 2 を側面高抵抗層 3 にかかるまで、または、焼結体 1 と側面高抵抗層 3 の界面近傍まで形成することで電極 2 の形成面積を最大限に広げた場合において、側面高抵抗層 3 の重り落下試験で計測される衝撃密着強度が 40 mm 未満であると、衝撃密着強度が小さすぎるため、開閉サージを印加した時に側面高抵抗層 3 と焼結体 1 の界面でフラッシュオーバーが生じ易くなる。

【0042】

これに対して、電極 2 の形成面積を最大限に広げた場合でも、側面高抵抗層 3 の重り落下試験で計測される衝撃密着強度が 40 mm 以上であれば、開閉サージを印加した時に側面高抵抗層 3 と焼結体 1 の界面でフラッシュオーバーが生じ難くなる。

【0043】

そのため、衝撃密着強度が 40 mm 未満の電圧非直線抵抗体においては、優れた過電圧保護能力を得ることができず、衝撃密着強度が 40 mm 以上の電圧非直線抵抗体においてのみ、優れた過電圧保護能力が得られるものと考えられる。

【0044】

また、上記の試料について、 115°C の温度下の電圧非直線抵抗体に対して、室温の電圧非直線抵抗体に 1 mA の抵抗分電流 I_R が流れる交流電圧を 1000 時間課電し、課電開始直後の抵抗分漏れ電流 ($I_R(0\text{ h})$) と 1000 時間課電後の抵抗分電流 ($I_R(1000\text{ h})$) を測定し、 $I_R(1000\text{ h})/I_R(0\text{ h})$ により課電寿命特性の評価を行った、その結果を図 3 に示す。

【0045】

図 3 から明らかなように、本発明に該当する試料、つまり側面高抵抗層 3 の焼

結体 1 への衝撃密着強度が 4 0 m m 以上の試料は、いずれも、 $IR(1000h) / IR(0h)$ の値が 1 以下である。つまり、抵抗分電流が初期値に対し大きく変化せず安定しており、実際の運転状態における信頼性が高いと評価できる。これに対して、本発明に該当しない試料、つまり側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が 4 0 m m 未満の試料は、いずれも、 $IR(1000h) / IR(0h)$ の値が 1 を大きく越えている。つまり、抵抗分電流が初期値に対し増加しており、そのまま運転を続けるとさらに抵抗分電流が増加し、最終的には熱暴走する危険性が考えられ、実際の運転状態における危険性が高いと評価できる。

【0046】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、電極 2 を側面高抵抗層 3 にかかるまで、または、焼結体 1 と側面高抵抗層 3 の界面近傍まで形成することで電極 2 の形成面積を最大限に広げた場合において、側面高抵抗層 3 の重り落下試験で計測される衝撃密着強度が 4 0 m m 未満と小さいと、電圧を長時間課電することにより側面高抵抗層 3 と焼結体 1 の界面に流れる漏れ電流が増加する。

【0047】

これに対して、電極 2 の形成面積を最大限に広げた場合でも、側面高抵抗層 3 の重り落下試験で計測される衝撃密着強度が 4 0 m m 以上であれば、電圧を長時間課電しても側面高抵抗層 3 と焼結体 1 の界面に流れる漏れ電流は増加しない。

【0048】

そのため、衝撃密着強度が 4 0 m m 未満の電圧非直線抵抗体においては、安定した課電寿命性能を得ることができず、衝撃密着強度が 4 0 m m 以上の電圧非直線抵抗体においてのみ、安定した課電寿命性能が得られるものと考えられる。

【0049】

[端部間距離が異なる試料の作製]

次に、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離を 0 ～ (側面高抵抗層厚み + 0. 0 1) m m の範囲内とする構成の作用効果を示すために、電極 2 の形成面積を変化させて、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた

非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【0050】

まず、いずれの試料においても、側面高抵抗層 3 については、少なくとも $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ (ムライト) と、 AlPO_4 (オルトリン酸アルミニウム) を成分とする厚み $100\text{ }\mu\text{m}$ の側面高抵抗層 3 を、この側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が 40 mm となるように、等しく形成した。

【0051】

このように厚み $100\text{ }\mu\text{m}$ の側面高抵抗層 3 を等しく形成した試料に対して、 Al (アルミニウム) を主成分とした材料を用いて、面積の異なる電極 2 をそれぞれ形成することにより、端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が、それぞれ、0, 10, 50, 100, 110, 120, 150 μm と異なる、計 7 種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【0052】

[端部間距離が異なる試料の評価]

以上のように作製した各試料に対して、 2 ms の波長で所定のエネルギーを有する開閉サージを、 $100\text{ J}/\text{cm}^3$ を開始エネルギーとし、試料が室温に戻る時間間隔で印加エネルギーを $50\text{ J}/\text{cm}^3$ ずつ増加させながら印加してゆき、各試料が破壊するエネルギーにより各試料の過電圧保護能力の評価を行った。その結果を図 4 に示す。

【0053】

図 4 から明らかなように、本発明に該当する試料、つまり電極端部 4 と側面高抵抗層 3 を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0 ~ (側面高抵抗層厚み + 0.01) mm の範囲の試料 (本実施例においては、端部間距離が 0 ~ 110 μm の試料) は、いずれも、 $800\text{ J}/\text{cm}^3$ 未満のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点では破壊が生じることはなく、破壊が生じるのは印加するエネルギーが少なくとも $800\text{ J}/\text{cm}^3$ 以上となった場合である。

【0054】

これに対して、本発明に該当しない試料、つまり電極端部 4 と側面高抵抗層を

含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が（側面高抵抗層厚み + 0.01）mm を越える試料（本実施例においては、端部間距離が 110 μ m を越える試料）は、いずれも、400 J/cm³ 以下のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点で破壊が生じている。

【0055】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が（側面高抵抗層厚み + 0.01）mm を越えると、端部間距離が大きすぎるため、開閉サージを印加した時に非直線抵抗体周囲部に電流が流れない領域が大きくなり、電極形成部の電流が流れる領域とで温度差が生じることにより起因して熱応力が発生する。そして、この熱応力により、焼結体 1 にクラックが発生し破壊に至り、結果として非直線抵抗体の過電圧保護能力を低下させてしまう。

【0056】

これに対して、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0 ～（側面高抵抗層厚み + 0.01）mm の範囲内であれば、開閉サージを印加した時に非直線抵抗体周囲部に電流が流れない領域が生じないかあるいは生じても小さいため、非直線抵抗体に温度差が生じることではなく、熱応力に起因する焼結体 1 の破壊現象を防止できる。

【0057】

そのため、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が（側面高抵抗層厚み + 0.01）mm を越える電圧非直線抵抗体においては、優れた過電圧保護能力を得ることができず、端部間距離が（側面高抵抗層厚み + 0.01）mm の範囲内の電圧非直線抵抗体においてのみ、優れた過電圧保護能力が得られるものと考えられる。

【0058】

[衝撃密着強度と端部間距離の限定による効果]

以上の評価結果から明らかなように、本発明に従い、重り落下試験により測定される側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が 40 mm 以上であり、かつ、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0 ～

(側面高抵抗層厚み+0.01) mmの範囲内となるように形成することにより、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等のサージに対する過電圧保護能力を大きく向上させることができる。

【0059】

(2) 第2の実施例

第2の実施例は、請求項2及び6に記載の発明に関するものであり、前記第1の実施例で示した衝撃密着強度と端部間距離の限定に加えて、さらに電極材料や電極の形成手法を限定した場合の作用効果を示すために、電極材料や電極の形成方法が異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【0060】

すなわち、本実施例の電圧非直線抵抗体はまず、重り落下試験により測定される側面高抵抗層3の焼結体1への衝撃密着強度が40 mm以上の一定の値となり、かつ、電極端部4と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部5との端部間距離が0～(側面高抵抗層厚み+0.01) mmの範囲内の一定の値となるように、形成される。

【0061】

そして、この構成を前提として、請求項2に記載の発明に従い、電極材料を、アルミニウム、銅、亜鉛、ニッケル、金、銀、チタンまたはそれらの合金、の中から選択された材料に限定した場合の作用効果、および、請求項6に記載の発明に従い、電極の形成手法を、プラズマ溶射、アーク溶射、高速ガス炎溶射、スクリーン印刷、蒸着、転写、スパッタリングの中から選択された手法に限定した場合の作用効果を示すために、電極材料と電極の形成手法が異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【0062】

[電極材料と電極の形成手法が異なる試料の作製]

まず、いずれの試料においても、側面高抵抗層3については、少なくとも $Al_6Si_2O_{13}$ (ムライト) と、 $AlPO_4$ (オルトリン酸アルミニウム) を成分

とする側面高抵抗層 3 を、この側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が 4 0 m m となるように、等しく形成した。

【 0 0 6 3 】

また、電極 2 については、A 1 (アルミニウム) を主成分とした材料を用いて、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0 m m となるように形成する一方で、電極 2 の材料と形成手法を変化させることにより、電極材料と電極の形成手法が異なる計 1 8 種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【 0 0 6 4 】

すなわち、電極材料として、それぞれ、アルミニウム、銅、亜鉛、ニッケル、金、銀、チタン、銅と亜鉛の合金、ニッケルとアルミニウムの合金、銀と銅の合金、炭素鋼、1 3 C r 系ステンレス鋼、をそれぞれ主成分とする異なる電極 2 をそれぞれ形成することにより、電極材料の異なる 1 2 種類の電圧非直線抵抗体を作製した。このうち、アルミニウムを主成分とする電極の形成については、プラズマ溶射、アーク溶射、高速ガス炎溶射、スクリーン印刷、転写、蒸着、スパッタリング、という異なる手法により電極 2 をそれぞれ形成することにより、電極の形成手法の異なる 7 種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【 0 0 6 5 】

[電極材料と電極の形成手法が異なる試料の評価]

以上のように作製した各試料に対して、2 m s の波長で所定のエネルギーを有する開閉サージを、 100 J/cm^3 を開始エネルギーとし、試料が室温に戻る時間間隔で印加エネルギーを 50 J/cm^3 ずつ増加させながら印加してゆき、各試料が破壊するエネルギーにより各試料の過電圧保護能力の評価を行った。その結果を次の表 1 に示す。

【 0 0 6 6 】

【表 1】

電極材料	電極形成方法	破壊エネルギー(J/cm ³)
アルミニウム	プラズマ溶射	900
	アーク溶射	800
	高速ガス炎溶射	900
	スクリーン印刷	800
	転 写	850
	蒸 着	800
	スパッタリング	850
銅	プラズマ溶射	850
亜 鉛	プラズマ溶射	900
ニッケル	プラズマ溶射	900
金	蒸 着	800
銀	スクリーン印刷	850
チ タ ン	プラズマ溶射	900
銅 亜鉛合金	プラズマ溶射	900
ニッケル、アルミ合金	プラズマ溶射	850
銀、銅合金	プラズマ溶射	900
炭素鋼	プラズマ溶射	400
13Cr系ステンレス	プラズマ溶射	350

【 0 0 6 7 】

この表 1 から明らかなように、本発明の電極材料を用いた試料、つまり電極材料がアルミニウム、銅、亜鉛、ニッケル、金、銀、チタン、銅と亜鉛の合金、ニッケルとアルミニウムの合金である試料は、いずれも、 800 J/cm^3 未満のエネルギーを有する開閉サージの印加では破壊が生じることはなく、破壊が生じるのは印加するエネルギーが少なくとも 800 J/cm^3 以上となった場合である。

【 0 0 6 8 】

そして、アルミニウムの電極を形成する際に本発明の電極形成手法を用いた試料、つまり電極形成手法として、プラズマ溶射、アーク溶射、高速ガス炎溶射、スクリーン印刷、転写、蒸着、スパッタリングの手法により形成した試料は、い

ずれも、 800 J/cm^3 未満のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点では破壊が生じることはなく、破壊が生じるのは印加するエネルギーが 800 J/cm^3 以上となった場合である。

【0069】

これに対して、本発明の電極材料を用いていない試料、つまり電極材料に炭素鋼、13Crステンレス鋼を使用した試料は、いずれも、 400 J/cm^3 以下のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点で破壊が生じている。

【0070】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、電極材料に炭素鋼や13Crステンレス鋼を用いて電極を形成した電圧非直線抵抗体は、焼結体1と電極2との密着力が低いため、結果的に電流印加時に電流が流れない領域が大きくなって温度差を生じてしまい、熱応力に起因して焼結体1の破壊現象を生じてしまう。

【0071】

これに対して、本発明の電極材料を用いた電圧非直線抵抗体は、焼結体1と電極2との密着力が高いため、電流印加時に電流が流れない領域が生じないかあるいは生じても小さいため、非直線抵抗体に温度差が生じることはなく、熱応力に起因する焼結体1の破壊現象を防止できる。

【0072】

そのため、本発明の電極材料を用いていない電圧非直線抵抗体においては、優れた過電圧保護能力を得ることができず、本発明の電極材料を用いた電圧非直線抵抗体においてのみ、優れた過電圧保護能力が得られるものと考えられる。

【0073】

[電極材料と電極の形成手法の限定による効果]

以上の評価結果から明らかなように、本発明に従い、電極材料として、アルミニウム、銅、亜鉛、ニッケル、金、銀、チタンまたはそれらの合金、の中から選択された材料を使用し、プラズマ溶射、アーク溶射、高速ガス炎溶射、スクリーン印刷、蒸着、転写、スパッタリングの中から選択された手法により電極を形成することにより、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等のサージに対する過電

圧保護機能を大きく向上させることができる。

【0074】

(3) 第3の実施例

第3の実施例は、請求項3に記載の発明に関するものであり、前記第1の実施例で示した衝撃密着強度と端部間距離の限定に加えて、さらに電極の平均厚みを限定した場合の作用効果を示すために、電極の平均厚みが異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【0075】

すなわち、本実施例の電圧非直線抵抗体はまず、重り落下試験により測定される側面高抵抗層3の焼結体1への衝撃密着強度が40mm以上の一定の値となり、かつ、電極端部4と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部5との端部間距離が0～(側面高抵抗層厚み+0.01)mmの範囲内の一定の値となるように、形成される。そして、この構成を前提として、請求項3に記載の発明に従い、電極2の平均厚みを5μm～500μmの範囲に限定した場合の作用効果を示すために、電極2の平均厚みが異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【0076】

[電極の平均厚みが異なる試料の作製]

まず、いずれの試料においても、側面高抵抗層3については、少なくとも $Al_6Si_2O_{13}$ (ムライト) と、 $AlPO_4$ (オルトリン酸アルミニウム) を成分とする側面高抵抗層3を、この側面高抵抗層3の焼結体1への衝撃密着強度が40mmとなるように、等しく形成した。

【0077】

また、電極2については、Al (アルミニウム) を主成分とした材料を用いて、電極端部4と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部5との端部間距離が0mmとなるように形成する一方で、電極2の平均厚みを変化させることにより、電極2の平均厚みが、それぞれ、1, 5, 10, 100, 300, 500, 700, 1000μmと異なる、計8種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【 0 0 7 8 】

〔電極の平均厚みが異なる試料の評価〕

以上のように作製した各試料に対して、2 m s の波長で所定のエネルギーを有する開閉サージを、 $100 \text{ J} / \text{cm}^3$ を開始エネルギーとし、試料が室温に戻る時間間隔で印加エネルギーを $50 \text{ J} / \text{cm}^3$ ずつ増加させながら印加してゆき、各試料が破壊するエネルギーにより各試料の過電圧保護能力の評価を行った。その結果を図 5 に示す。

【 0 0 7 9 】

図 5 から明らかなように、本発明に該当する試料、つまり電極 2 の平均厚みが $5 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ の範囲の試料は、いずれも、 $800 \text{ J} / \text{cm}^3$ 未満のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点では破壊が生じることはなく、破壊が生じるのは印加するエネルギーが少なくとも $800 \text{ J} / \text{cm}^3$ 以上となった場合である。これに対して、本発明に該当しない試料、つまり電極 2 の平均厚みが 1, 700, $1000 \mu\text{m}$ の試料は、いずれも、 $400 \text{ J} / \text{cm}^3$ 以下のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点で破壊が生じている。

【 0 0 8 0 】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、電極 2 の平均厚みが $5 \mu\text{m}$ 未満であると、薄すぎて電極 2 の熱容量が小さくなりすぎるため、優れた過電圧保護能力を得ることができない。反対に、電極 2 の平均厚みが $500 \mu\text{m}$ を越えると、厚すぎて電極 2 の焼結体 1 に対する接着強度が低下するので、優れた過電圧保護能力を得ることができない。これに対して、電極 2 の平均厚みが $5 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ の範囲内であれば、電極 2 の熱容量を一定以上に確保でき、また、電極 2 の焼結体 1 に対する接着強度も一定以上に確保できるため、優れた過電圧保護能力を得ることができるものと考えられる。

【 0 0 8 1 】

〔電極の平均厚みの限定による効果〕

以上の評価結果から明らかなように、本発明に従い、電極 2 の平均厚みを $5 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ の範囲内とすることにより、一定以上の熱容量と適切な接着強度の両方を確保することができるため、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等の

サージに対する過電圧保護機能を大きく向上させることができる。

【 0 0 8 2 】

(4) 第 4 の実施例

第 4 の実施例は、請求項 4 に記載の発明に関するものであり、前記第 1 の実施例で示した衝撃密着強度と端部間距離の限定に加えて、さらに側面高抵抗層の構成を限定した場合の作用効果を示すために、側面高抵抗層の構成が異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【 0 0 8 3 】

すなわち、本実施例の電圧非直線抵抗体はまず、重り落下試験により測定される側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が 4 0 m m 以上の一定の値となり、かつ、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0 ～ (側面高抵抗層厚み + 0 . 0 1) m m の範囲内の一定の値となるように、形成される。

【 0 0 8 4 】

そして、この構成を前提として、請求項 4 に記載の発明に従い、無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機物による側面高抵抗層、結晶質無機物による側面高抵抗層、有機高分子樹脂を主成分とした側面高抵抗層、という 5 種類の側面高抵抗層の中からいずれか 1 種類以上を組み合わせて側面高抵抗層を形成した場合の作用効果を示すために、側面高抵抗層の構成が異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【 0 0 8 5 】

[側面高抵抗層の構成が異なる試料の作製]

まず、単層構造の側面高抵抗層を有する電圧非直線抵抗体として、本発明に従い、無機高分子による側面高抵抗層 3 を有する 1 種類の電圧非直線抵抗体 (第 1 の試料)、非晶質無機高分子による側面高抵抗層 3 を有する 4 種類の電圧非直線抵抗体 (第 2 ～ 第 5 の試料)、非晶質無機物による側面高抵抗層 3 を有する 2 種類の電圧非直線抵抗体 (第 6 、 第 7 の試料)、結晶質無機物による側面高抵抗層

3を有する8種類の電圧非直線抵抗体（第8～第15の試料）、有機高分子樹脂を主成分とした側面高抵抗層3を有する2種類の電圧非直線抵抗体（第16、第17の試料）、という計17種類の電圧非直線抵抗体（第1～第17の試料）を作製した。これらの第1～第17の試料における側面高抵抗層3の詳細は、次の通りである。

【0086】

第1の試料においては、無機高分子による側面高抵抗層として、 $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ （ムライト）及び AlPO_4 （オルトリン酸アルミニウム）を主成分とした側面高抵抗層3を形成した。

【0087】

第2～第5の試料においては、非晶質無機高分子による側面高抵抗層として、非晶質 SiO_2 （シリカ）を主成分とした側面高抵抗層3、非晶質 Al_2O_3 （アルミナ）を主成分とした側面高抵抗層3、非晶質 SiO_2 （シリカ）と $\text{CH}_3\text{SiO}_{1.5}$ （オルガノシリケート）を主成分とした側面高抵抗層3、非晶質 Al_2O_3 （アルミナ）と $\text{CH}_3\text{SiO}_{1.5}$ （オルガノシリケート）を主成分とした側面高抵抗層3、をそれぞれ形成した。

【0088】

第6、第7の試料においては、非晶質無機物による側面高抵抗層として、鉛ガラスを主成分とする側面高抵抗層3、鉛亜鉛ガラスを主成分とした側面高抵抗層3、をそれぞれ形成した。

【0089】

第8～第10の試料においては、結晶質無機物による側面高抵抗層として、 $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$ （ジンクアンチモンスピネル）を主成分とした側面高抵抗層3、 Zn_2SiO_4 （ジンクシリケート）と $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$ （ジンクアンチモンスピネル）を主成分とした側面高抵抗層3、 Zn_2SiO_4 （ジンクシリケート）を主成分とし、Fe（鉄）が固溶した $\text{Zn}_7\text{Sb}_2\text{O}_{12}$ （ジンクアンチモンスピネル）を含む側面高抵抗層3、をそれぞれ形成した。

【0090】

第11～第15の試料においては、結晶質無機物による側面高抵抗層として、

SiO_2 （シリカ）を主成分とした側面高抵抗層 3、 Al_2O_3 （アルミナ）を主成分とした側面高抵抗層 3、 $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ （ムライト）を主成分とした側面高抵抗層 3、 TiO_2 （酸化チタン）を主成分とした側面高抵抗層 3、 ZrO_2 （酸化ジルコニウム）を主成分とした側面高抵抗層 3、をそれぞれ形成した。

【0091】

第 16、第 17 の試料においては、有機高分子樹脂を主成分とした側面高抵抗層として、エポキシ樹脂を主成分とした側面高抵抗層 3、ポリイミド樹脂を主成分とした側面高抵抗層 3、をそれぞれ形成した。

【0092】

さらに、比較のために、ゴムを主成分とした単層構造の側面高抵抗層を有する 3 種類の電圧非直線抵抗体（第 18～第 20 の試料）を作製した。これらの第 18～第 20 の試料においては、ゴムを主成分とした側面高抵抗層として、シリコンゴムを主成分とした側面高抵抗層 3、フッ素ゴムを主成分とした側面高抵抗層 3、ウレタンゴムを主成分とした側面高抵抗層 3、をそれぞれ形成した。

【0093】

また、2 層構造の側面高抵抗層を有する電圧非直線抵抗体として、本発明で限定している 5 種類の側面高抵抗層の中から 2 種類の側面高抵抗層を組み合わせ、6 種類の電圧非直線抵抗体（第 21～第 26 の試料）を作製した。これらの第 21～第 26 の試料における側面高抵抗層 3 の詳細は、次の通りである。

【0094】

第 21 の試料においては、 $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ （ムライト）及び AlPO_4 （オルトリン酸アルミニウム）を成分とした第 1 の側面高抵抗層の上に、非晶質 SiO_2 （シリカ）と $\text{CH}_3\text{SiO}_{1.5}$ （オルガノシリケート）を主成分とした第 2 の側面高抵抗層を形成して、2 層構造の側面高抵抗層 3 とした。

【0095】

第 22 の試料においては、 $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ （ムライト）及び AlPO_4 （オルトリン酸アルミニウム）を成分とした第 1 の側面高抵抗層上に、非晶質 Al_2O_3 （アルミナ）と $\text{CH}_3\text{SiO}_{1.5}$ （オルガノシリケート）を主成分とした第

2の側面高抵抗層を形成して、2層構造の側面高抵抗層3とした。

【0096】

第23の試料においては、 Zn_2SiO_4 （ジンクシリケート）と $Zn_7Sb_2O_{12}$ （ジンクアンチモンスピネル）を成分とした第1の側面高抵抗層の上に、非晶質の SiO_2 （シリカ）と $CH_3SiO_{1.5}$ （オルガノシリケート）を主成分とした第2の側面高抵抗層を形成して、2層構造の側面高抵抗層3とした。

【0097】

第24の試料においては、 Zn_2SiO_4 （ジンクシリケート）と $Zn_7Sb_2O_{12}$ （ジンクアンチモンスピネル）を成分とした第1の側面高抵抗層の上に、鉛ガラスを主成分とする第2の側面高抵抗層を形成して、2層構造の側面高抵抗層3を形成した。

【0098】

第25の試料においては、 Zn_2SiO_4 （ジンクシリケート）と $Zn_7Sb_2O_{12}$ （ジンクアンチモンスピネル）を成分とした第1の側面高抵抗層の上に、エポキシ樹脂を主成分とした第2の側面高抵抗層を形成して、2層構造の側面高抵抗層3を形成した。

【0099】

第26の試料においては、 $Al_6Si_2O_{13}$ （ムライト）を主成分とした第1の側面高抵抗層の上に、非晶質の SiO_2 （シリカ）と $CH_3SiO_{1.5}$ （オルガノシリケート）を主成分とした第2の側面高抵抗層を形成して、2層構造の側面高抵抗層3を形成した。

【0100】

なお、いずれの試料においても、電極2は、Al（アルミニウム）を主成分とした材料を用いて、電極端部4と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部5との端部間距離が0mmとなるように、等しく形成した。

【0101】

〔側面高抵抗層の構成が異なる試料の評価〕

以上のように作製した各試料に対して、2msの波長で所定のエネルギーを有する開閉サージを、 $100J/cm^3$ を開始エネルギーとし、試料が室温に戻る

時間間隔で印加エネルギーを 50 J/cm^3 ずつ増加させながら印加してゆき、各試料が破壊するエネルギーにより各試料の過電圧保護能力の評価を行った。また、各試料について、 115°C の温度下の電圧非直線抵抗体に対して、室温の電圧非直線抵抗体に 1 mA の抵抗分電流 I_R が流れる交流電圧を 1000 時間課電し、課電開始直後の抵抗分漏れ電流 ($I_R(0 \text{ h})$) と 1000 時間課電後の抵抗分電流 ($I_R(1000 \text{ h})$) を測定し、 $I_R(1000 \text{ h}) / I_R(0 \text{ h})$ により課電寿命特性の評価を行った。以上の評価結果を表 2 に示す。

【 0 1 0 2 】

【表 2】

試料 番号	側面高抵抗層 の分類	第1の 側面高抵抗層	第2の 側面高抵抗層	破壊エネルギー (J/cm ³)	IR(1000h) /IR(0h)
1	無機高分子	ムライト及び オルトリン酸アルミ	な し	850	0. 93
2	非晶質 無機高分子	非晶質シリカ		850	0. 87
3		非晶質アルミナ		800	0. 85
4		非晶質シリカと オルガノシリケート		850	0. 91
5		非晶質アルミナと オルガノシリケート		800	0. 92
6	非晶質無機物	鉛ガラス		850	0. 86
7		鉛亜鉛ガラス		800	0. 89
8	結晶質無機物	Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂		800	0. 91
9		Zn ₂ SiO ₄ と Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂		850	0. 94
10		Zn ₂ SiO ₄ と Fe 固溶 Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂		800	0. 88
11		結晶シリカ		800	0. 86
12		結晶アルミナ		800	0. 85
13		ムライト		850	0. 87
14		酸化チタン		800	0. 88
15		酸化ジルコニウム		800	0. 89
16	有機高分子 樹脂	エポキシ樹脂		850	0. 86
17		ポリイミド樹脂		800	0. 91
18	ゴ ム	シリコンゴム		300	2. 97
19		フッ素ゴム		400	1. 98
20		ウレタンゴム		350	1. 72
21	2種類の 側面高抵抗層 の組合わせ	ムライト及び オルトリン酸アルミ	非晶質シリカと オルガノシリケート	950	0. 97
22		ムライト及び オルトリン酸アルミ	非晶質アルミナと オルガノシリケート	950	0. 95
23		Zn ₂ SiO ₄ と Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂	非晶質シリカと オルガノシリケート	850	0. 94
24		Zn ₂ SiO ₄ と Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂	鉛ガラス	900	0. 98
25		Zn ₂ SiO ₄ と Zn ₇ Sb ₂ O ₁₂	エポキシ樹脂	850	0. 93
26		ムライト	非晶質シリカと オルガノシリケート	850	0. 95

【 0 1 0 3 】

この表 2 から明らかなように、本発明の側面高抵抗層を用いた試料、つまり第 1 ～第 1 7 の試料、及び第 2 1 ～第 2 6 の試料は、いずれも、800 J/cm³ 未満のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点では破壊が生じることはな

く、破壊が生じるのは印加するエネルギーが少なくとも 800 J/cm^3 以上となった場合である。これに対して、本発明に該当しない試料、つまり第18～第20の試料は、いずれも、 400 J/cm^3 以下のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点で破壊が生じている。

【0104】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、側面高抵抗層3として、本発明に該当する側面高抵抗層3を使用することにより、衝撃密着力及び耐電圧が高い側面高抵抗層3を容易に実現することができるため、優れた過電圧保護能力を得ることができる。これに対して、側面高抵抗層3として、本発明に該当しない側面高抵抗層3を使用した場合には、衝撃密着力及び耐電圧が高い側面高抵抗層3を実現することが困難であり、開閉サージを印加した時に側面高抵抗層3と焼結体1の界面でフラッシュオーバーが生じ易くなるので、優れた過電圧保護能力を得ることができない。

【0105】

また、本発明の側面高抵抗層を用いた第1～第17の試料、及び第21～第26の試料は、いずれも、 $IR(1000 \text{ h}) / IR(0 \text{ h})$ の値が1以下であるのに対して、本発明の側面高抵抗層を用いていない第18～第20の試料は、 $IR(1000 \text{ h}) / IR(0 \text{ h})$ の値が1を大きく越えている。

【0106】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、電極2を側面高抵抗層3にかかるまで、または、焼結体1と側面高抵抗層3の界面近傍まで形成することで電極2の形成面積を最大限に広げた場合において、側面高抵抗層3に本発明の側面高抵抗層を使用しないと、電圧を長時間課電することにより側面高抵抗層3と焼結体1の界面に流れる漏れ電流が増加する。これに対して、電極2の形成面積を最大限に広げた場合でも、本発明の側面高抵抗層を使用すれば、電圧を長時間課電しても側面高抵抗層3と焼結体1の界面に流れる漏れ電流は増加しない。

【0107】

そのため、本発明の側面高抵抗層を使用しない電圧非直線抵抗体においては、

安定した課電寿命性能を得ることができず、本発明の側面高抵抗層を使用した電圧非直線抵抗体においてのみ、安定した課電寿命性能が得られるものと考えられる。

【 0 1 0 8 】

[側面高抵抗層の構成の限定による効果]

以上の評価結果から明らかなように、本発明に従い、無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機高分子による側面高抵抗層、非晶質無機物による側面高抵抗層、結晶質無機物による側面高抵抗層、有機高分子樹脂を主成分とした側面高抵抗層、5種類の側面高抵抗層の中からいずれか1種類以上を組み合わせることで側面高抵抗層を形成することにより、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等のサージに対する過電圧保護能力を大きく向上させることができる。

【 0 1 0 9 】

(5) 第5の実施例

第5の実施例は、請求項5に記載の発明に関するものであり、前記第1の実施例で示した衝撃密着強度と端部間距離の限定に加えて、さらに側面高抵抗層の厚みを限定した場合の作用効果を示すために、側面高抵抗層の厚みが異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【 0 1 1 0 】

すなわち、本実施例の電圧非直線抵抗体はまず、重り落下試験により測定される側面高抵抗層3の焼結体1への衝撃密着強度が40mm以上の一定の値となり、かつ、電極端部4と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部5との端部間距離が0～(側面高抵抗層厚み+0.01)mmの範囲内の一定の値となるように、形成される。そして、この構成を前提として、請求項5に記載の発明に従い、側面高抵抗層3の厚みを1μm～2mmの範囲に限定した場合の作用効果を示すために、側面高抵抗層3の厚みが異なる複数種類の電圧非直線抵抗体を試料として作製し、各試料の評価を行ったものである。

【0111】

〔側面高抵抗層の平均厚みが異なる試料の作製〕

まず、側面高抵抗層 3 については、少なくとも $Al_6Si_2O_{13}$ (ムライト) と、 $AlPO_4$ (オルトリン酸アルミニウム) を成分とする側面高抵抗層 3 を、この側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度が 40 mm となるように形成する一方で、側面高抵抗層 3 の厚みを変化させることにより、側面高抵抗層 3 の厚みが、それぞれ、0.1, 1, 10, 100 μm 、1, 2, 5 mm と異なる、計 7 種類の電圧非直線抵抗体を作製した。

【0112】

また、いずれの試料においても、電極 2 については、Al (アルミニウム) を主成分とした材料を用いて、電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が 0 mm となるように、等しく形成した。

【0113】

〔側面高抵抗層の厚みが異なる試料の評価〕

以上のように作製した各試料に対して、2 ms の波長で所定のエネルギーを有する開閉サージを、 $100 J/cm^3$ を開始エネルギーとし、試料が室温に戻る時間間隔で印加エネルギーを $50 J/cm^3$ ずつ増加させながら印加してゆき、各試料が破壊するエネルギーにより各試料の過電圧保護能力の評価を行った。その結果を図 6 に示す。

【0114】

図 6 から明らかなように、本発明に該当する試料、つまり側面高抵抗層 3 の厚みが $1 \mu m \sim 2 mm$ の範囲の試料は、いずれも、 $800 J/cm^3$ 未満のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点では破壊が生じることはなく、破壊が生じるのは印加するエネルギーが少なくとも $800 J/cm^3$ 以上となった場合である。これに対して、本発明に該当しない試料、つまり、側面高抵抗層 3 の厚みが 0.1 μm 、5 mm の試料は、いずれも、 $400 J/cm^3$ 以下のエネルギーを有する開閉サージを印加した時点で破壊が生じている。

【0115】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、側

面高抵抗層 3 の厚みが $1\ \mu\text{m}$ 未満であると、薄すぎて適切な耐電圧性能が得られないため、優れた過電圧保護能力を得ることができない。反対に、側面高抵抗層 3 の厚みが $2\ \text{mm}$ を越えると、厚すぎて側面高抵抗層 3 の焼結体 1 に対する接着強度が低下するので、優れた過電圧保護能力を得ることができない。これに対して、側面高抵抗層 3 の厚みが $1\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲内であれば、一定以上の耐電圧性能を確保でき、また、側面高抵抗層 3 の焼結体 1 に対する接着強度も一定以上に確保できるため、優れた過電圧保護能力を得ることができるものと考えられる。

【0116】

また、上記の試料について、 115°C の温度下の電圧非直線抵抗体に対して、室温の電圧非直線抵抗体に $1\ \text{mA}$ の抵抗分電流 I_R が流れる交流電圧を 1000 時間課電し、課電開始直後の抵抗分漏れ電流 ($I_R(0\ \text{h})$) と 1000 時間課電後の抵抗分電流 ($I_R(1000\ \text{h})$) を測定し、 $I_R(1000\ \text{h}) / I_R(0\ \text{h})$ により課電寿命特性の評価を行った、その結果を図 7 に示す。

【0117】

図 7 から明らかなように、本発明に該当する試料、つまり側面高抵抗層 3 の厚みが $1\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲の試料は、いずれも、 $I_R(1000\ \text{h}) / I_R(0\ \text{h})$ の値が 1 以下である。これに対して、第 5 の実施例に該当しない試料、つまり側面高抵抗層 3 の厚みが $0.1\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \text{mm}$ の試料は、いずれも、 $I_R(1000\ \text{h}) / I_R(0\ \text{h})$ の値が 1 を大きく越えている。

【0118】

このような評価結果が得られた理由は、次のように解釈できる。すなわち、電極 2 を側面高抵抗層 3 にかかるまで、または、焼結体 1 と側面高抵抗層 3 の界面近傍まで形成することで電極 2 の形成面積を最大限に広げた場合において、側面高抵抗層 3 の厚みが $1\ \mu\text{m}$ 未満と薄すぎると、電圧を長時間課電した場合に側面高抵抗層 3 の表面に流れる漏れ電流が増加してしまい、安定した課電寿命性能を得ることができない。

【0119】

反対に、側面高抵抗層 3 の厚みが $2\ \text{mm}$ 超と厚すぎると、側面高抵抗層 3 の焼

結体 1 に対する接着強度が低下するので、電圧を長時間課電すると側面高抵抗層 3 と焼結体 1 の界面に流れる漏れ電流が増加してしまい、安定した課電寿命性能を得ることができない。

【0 1 2 0】

これに対して、電極 2 の形成面積を最大限に広げた場合でも、側面高抵抗層 3 の厚みが $1\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲内であれば、側面高抵抗層 3 の表面や焼結対 1 との界面に流れる漏れ電流は増加しない。

【0 1 2 1】

そのため、側面高抵抗層の厚みが $1\ \mu\text{m}$ 未満あるいは $2\ \text{mm}$ 超の電圧非直線抵抗体においては、安定した課電寿命性能を得ることができず、側面高抵抗層の厚みが $1\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ の範囲内である電圧非直線抵抗体においてのみ、安定した課電寿命性能が得られるものと考えられる。

【0 1 2 2】

[側面高抵抗層の厚みの限定による効果]

以上の評価結果から明らかなように、本発明に従い、側面高抵抗層 3 の厚みを $1\ \mu\text{m} \sim 2\ \text{mm}$ とすることにより、一定以上の耐電圧と適切な接着強度の両方を確保することができるため、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、インパルス電流や過電圧等のサージに対する過電圧保護能力を大きく向上させることができる。

【0 1 2 3】

(6) 他の実施例

なお、本発明は、前記各実施例に限定されるものではなく、本発明の範囲内で他にも多種多様な変形例を実施可能である。例えば、焼結体の具体的な寸法、材質や製造工程等は、前記実施例の説明中の記載内容に限定されるものではなく、自由に変更可能である。すなわち、本発明は、電極及び側面高抵抗層の形成条件や構成に特徴を有するものであるため、それらの特徴を実現できる限り、各種の焼結体を適用可能である。

【0 1 2 4】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、重り落下試験により測定される側面高抵抗層の焼結体への衝撃密着強度が4 0 m m以上であり、かつ、電極の端部と側面絶縁層を含めた非直線抵抗体端部との端部間距離が、0 ～（側面高抵抗層厚み + 0 . 0 1）m mの範囲内となるように形成することにより、通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ開閉サージ、雷インパルスや過電圧等のサージに対する過電圧保護能力を飛躍的に向上させた電圧非直線抵抗体を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に従って作製された電圧非直線抵抗体を示す断面図である。

【図 2】

第 1 の実施例として作製された電圧非直線抵抗体について、重り落下試験により測定した側面高抵抗層の衝撃密着強度と過電圧保護能力との関係を示すグラフである。

【図 3】

第 1 の実施例として作製された電圧非直線抵抗体について、重り落下試験により測定した側面高抵抗層の衝撃密着強度と課電寿命性能との関係を示すグラフである。

【図 4】

第 1 の実施例として作製された電圧非直線抵抗体について、電極端部と側面高抵抗層を含めた電圧非直線抵抗体の端部との端部間距離と過電圧保護能力との関係を示すグラフである。

【図 5】

第 3 の実施例として作製された電圧非直線抵抗体について、電極の平均厚みと過電圧保護能力との関係を示すグラフである。

【図 6】

第 5 の実施例として作製された電圧非直線抵抗体について、側面高抵抗層の厚

みと過電圧保護能力との関係を示すグラフである。

【図 7】

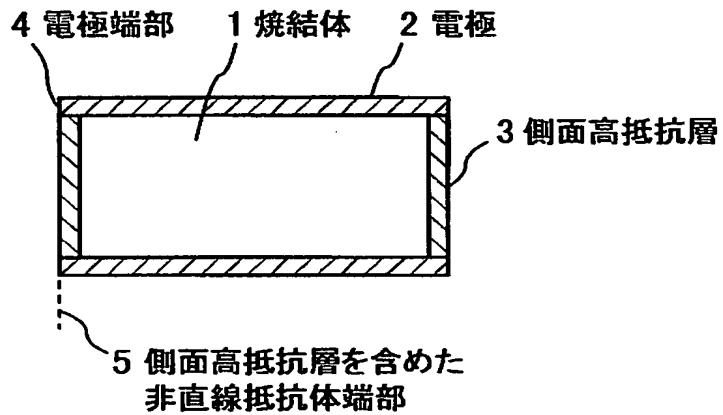
第 5 の実施例として作製された電圧非直線抵抗体について、側面高抵抗層の厚みと課電寿命性能との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

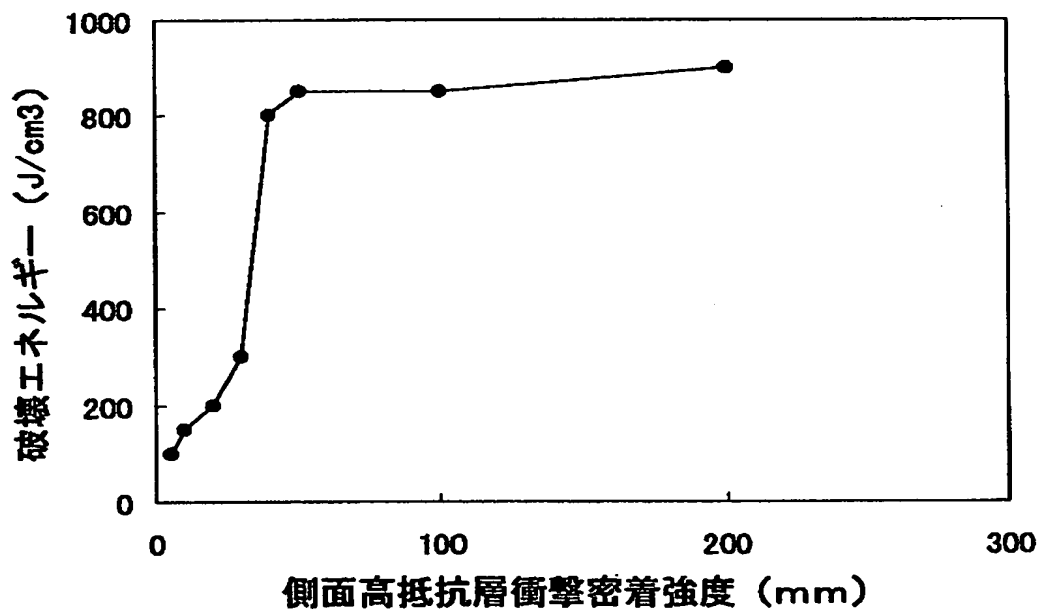
- 1 …焼結体
- 2 …電極
- 3 …側面高抵抗層
- 4 …電極端部
- 5 …側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部

【書類名】 図面

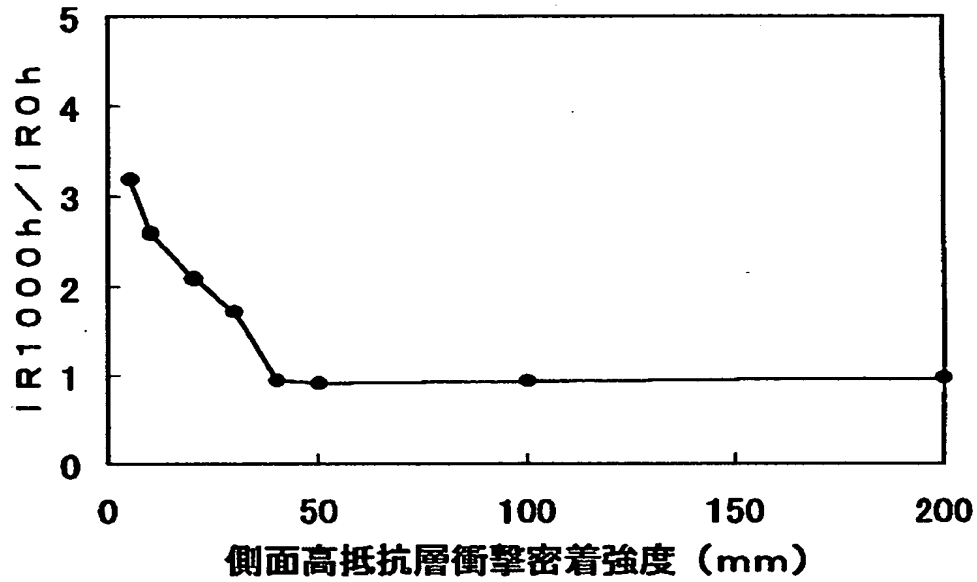
【図 1】



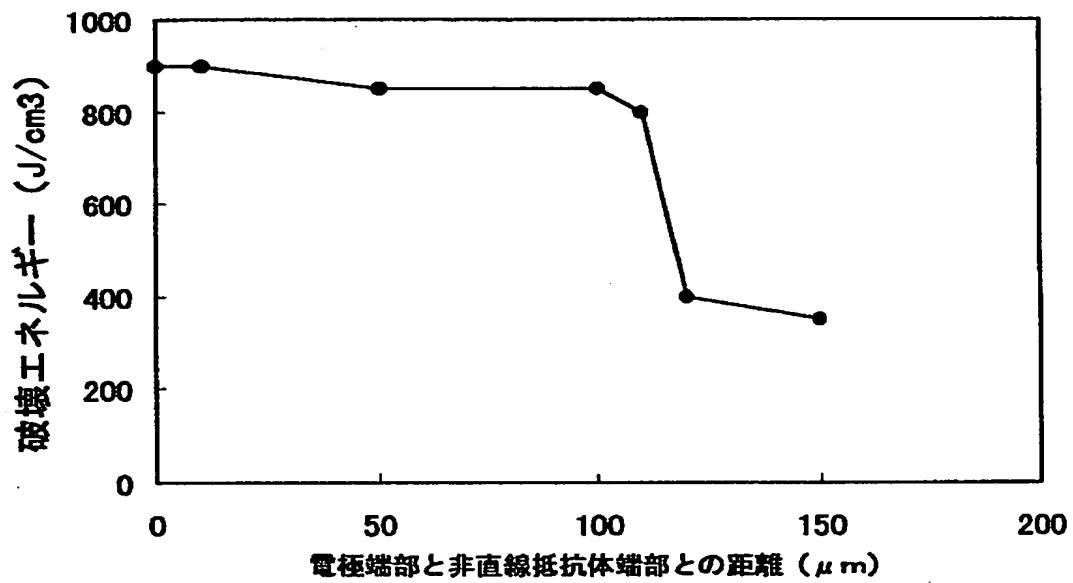
【図 2】



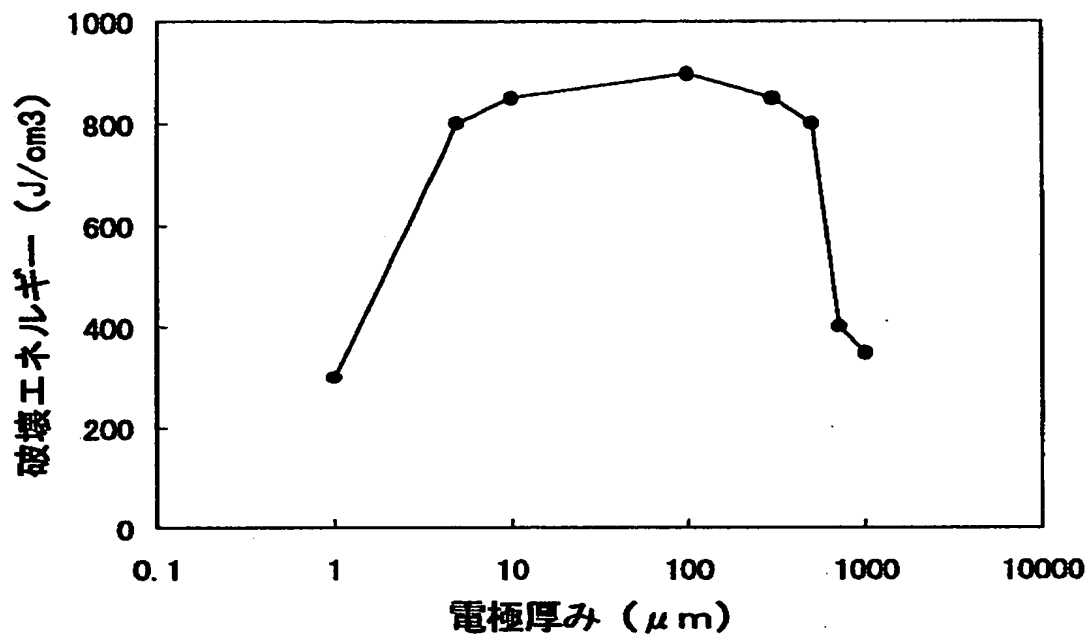
【図3】



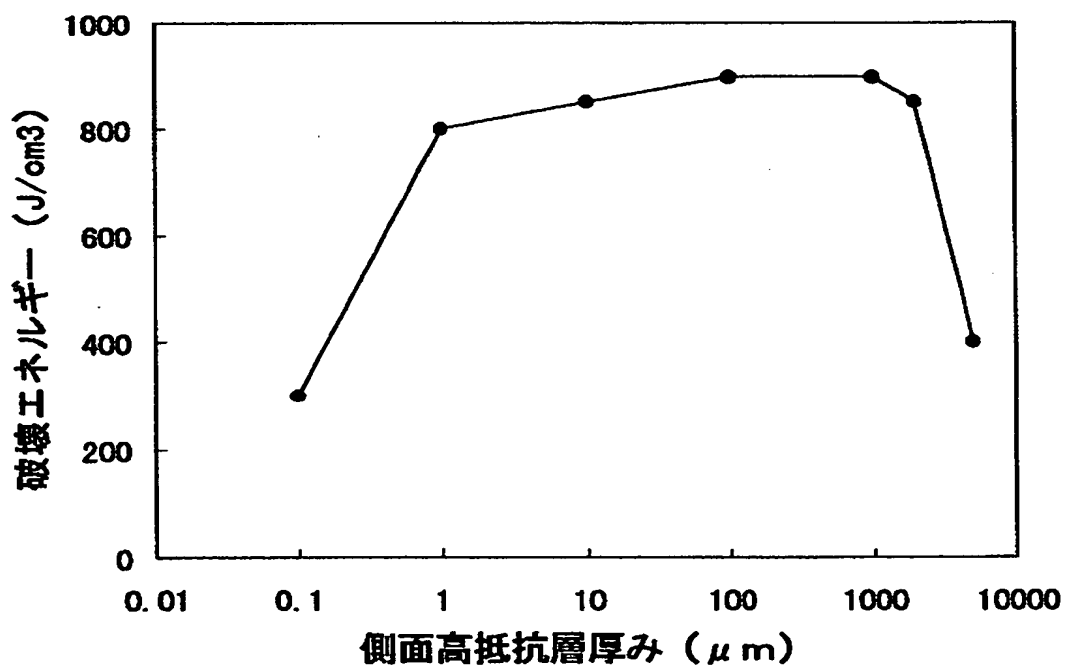
【図4】



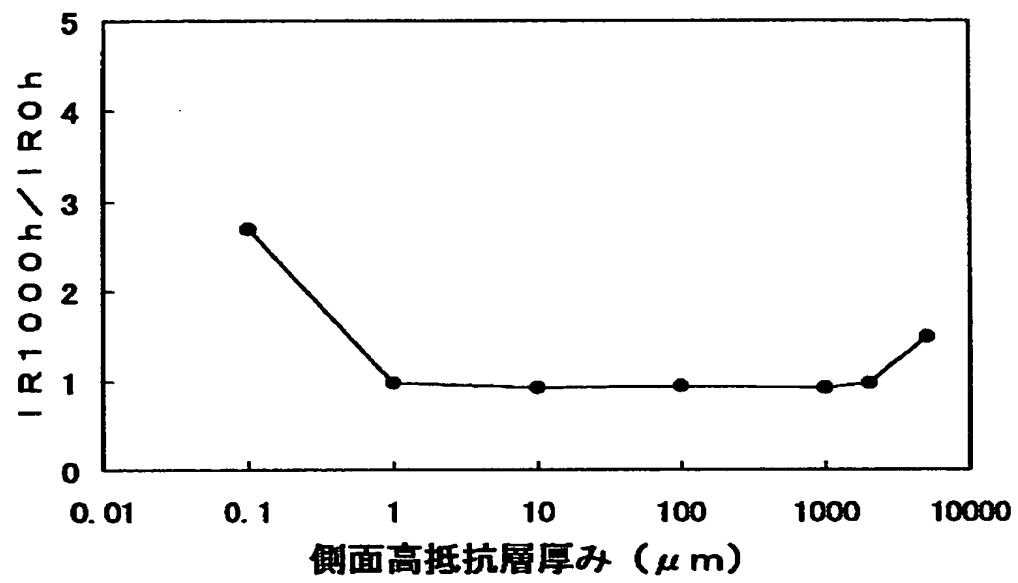
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 通常の使用状態において安定した課電寿命を実現し、かつ、開閉サージ、雷インパルスや過電圧等のサージに対する過電圧保護能力を向上させた電圧非直線抵抗体及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 電圧非直線抵抗体は、酸化亜鉛を主成分とした焼結体 1 と、この焼結体 1 の側面に設けられた側面高抵抗層 3 と、焼結体 1 の上下面に設けられた一対の電極 2 を備える。重り落下試験により測定される側面高抵抗層 3 の焼結体 1 への衝撃密着強度は 4 0 m m 以上である。電極端部 4 と側面高抵抗層を含めた非直線抵抗体端部 5 との端部間距離が、0 ～（側面高抵抗層厚み + 0 . 0 1 ） m m の範囲内となるように形成される。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 3 0 7 8]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 2 日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県川崎市幸区堀川町 7 2 番地
氏 名	株式会社東芝